

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re U.S. Patent Application of )  
SATO et al. )  
Application Number: To be Assigned )  
Filed: Concurrently Herewith )  
For: WAVELENGTH TUNABLE DBR LASER DIODE )  
ATTORNEY DOCKET NO. NITT.0176 )

Honorable Assistant Commissioner  
for Patents  
Washington, D.C. 20231

**REQUEST FOR PRIORITY  
UNDER 35 U.S.C. § 119  
AND THE INTERNATIONAL CONVENTION**

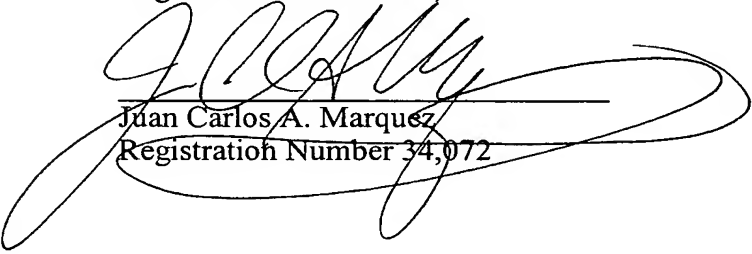
Sir:

In the matter of the above-captioned application for a United States patent, notice is hereby given that the Applicant claims the priority date of March 12, 2003, the filing date of the corresponding Japanese patent application 2003-066436.

A certified copy of Japanese patent application 2003-066436 is being submitted herewith. Acknowledgment of receipt of the certified copy is respectfully requested in due course.

Respectfully submitted,

\_\_\_\_\_  
Stanley P. Fisher  
Registration Number 24,344

  
\_\_\_\_\_  
Juan Carlos A. Marquez  
Registration Number 34,072

**REED SMITH LLP**  
3110 Fairview Park Drive  
Suite 1400  
Falls Church, Virginia 22042  
(703) 641-4200  
January 14, 2004

**PATENT OFFICE**  
**JAPANESE GOVERNMENT**

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this office.

Date of Application : March 12, 2003  
Application Number : Patent Application No. 2003-066436  
Applicant (s) : Hitachi, Ltd.

Dated this 19<sup>th</sup> day of November, 2003

---

Yasuo IMAI  
Commissioner,  
Patent Office

Certificate No. 2003-3095653

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 3月12日  
Date of Application:

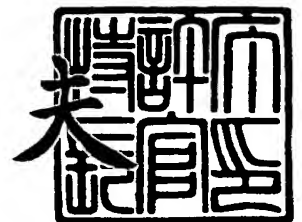
出願番号 特願2003-066436  
Application Number:  
[ST. 10/C]: [JP 2003-066436]

出願人 株式会社日立製作所  
Applicant(s):

2003年11月19日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井 康



【書類名】 特許願

【整理番号】 NT02P0804

【提出日】 平成15年 3月12日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01S 03/02

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社日立製作所 中央研究所内

    【氏名】 佐藤 宏

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社日立製作所 中央研究所内

    【氏名】 青木 雅博

【特許出願人】

    【識別番号】 000005108

    【氏名又は名称】 株式会社日立製作所

【代理人】

    【識別番号】 100068504

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 小川 勝男

    【電話番号】 03-3661-0071

【選任した代理人】

    【識別番号】 100086656

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 田中 恭助

    【電話番号】 03-3661-0071

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100094352

【弁理士】

【氏名又は名称】 佐々木 孝

【電話番号】 03-3661-0071

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 081423

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 波長可変分布反射型半導体レーザ装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 活性領域を含む光導波路領域と、分布ブラッグ反射器とを光学的に結合して有し、

前記分布ブラッグ反射器の光導波路領域は、前記分布ブラッグ反射器の光軸に沿った方向の少なくとも一部領域に一層以上の周期数でかつ前記活性領域を含む光導波路領域とは独立な構造の量子井戸層を有し、前記ブラッグ反射器の量子井戸層が当該波長可変分布反射型半導体レーザ装置の発振波長を増幅する機能を有することを特徴とする波長可変分布反射型半導体レーザ装置。

【請求項 2】 前記活性領域を含む光導波路領域と前記分布ブラッグ反射器とがバットジョイントにて光学的に結合されていることを特徴とする請求項 1 に記載の波長可変分布反射型半導体レーザ装置。

【請求項 3】 前記活性領域を含む光導波路領域と分布ブラッグ反射器を有する光導波路構造の一端に、更に半導体光増幅器が光学的に結合されて有することを特徴とする請求項 1 に記載の波長可変分布反射型半導体レーザ装置。

【請求項 4】 前記活性領域を含む光導波路領域と分布ブラッグ反射器を有する光導波路構造の一端に、更に半導体光変調器が光学的に結合されて有することを特徴とする請求項 1 に記載の波長可変分布反射型半導体レーザ装置。

【請求項 5】 前記活性領域を含む光導波路領域と分布ブラッグ反射器との間に、位相調整領域が光学的に結合され、前記分布ブラッグ反射器の一部または全領域、及び位相調整領域に、一層以上の周期数でかつ前記活性導波路とは独立な構造の量子井戸層が形成されたことを特徴とする請求項 1 に記載の波長可変分布反射型半導体レーザ装置。

【請求項 6】 前記分布ブラッグ反射器は、前記分布ブラッグ反射器の有する回折格子が、少なくともその一部に周期の異なる回折格子領域を有することを特徴とする請求項 1 に記載の波長可変分布反射型半導体レーザ装置。

【請求項 7】 活性領域を含む光導波路領域と分布ブラッグ反射器とを光学的に結合された光導波路領域が並置して設けられ、前記分布ブラッグ反射器の他端が

光結合器に光学的に結合され、且つ

前記分布ブラッグ反射器の光導波路領域は、前記分布ブラッグ反射器の光軸に沿った方向の少なくとも一部領域に一層以上の周期数でかつ前記活性領域を含む光導波路領域とは独立な構造の量子井戸層を有することを特徴とする波長可変分布反射型半導体レーザ装置。

【請求項 8】 前記光結合器の一端に、更に半導体光増幅器が光学的に結合されて有することを特徴とする請求項 8 に記載の波長可変分布反射型半導体レーザ装置。

【請求項 9】 前記活性領域を含む光導波路領域の両側に、各々第 1 及び第 2 分布ブラッグ反射器とを有し、

前記第 1 及び第 2 の分布ブラッグ反射器の各光導波路領域は、前記各分布ブラッグ反射器の光軸に沿った方向の少なくとも一部領域に一層以上の周期数でかつ前記活性領域を含む光導波路領域とは独立な構造の量子井戸層を有することを特徴とする請求項 1 に記載の波長可変分布反射型半導体レーザ装置。

【請求項 10】 前記活性領域を含む光導波路領域と前記第 1 及び第 2 の分布ブラッグ反射器との間の少なくともいずれか一方に、位相調整領域が光学的に結合され、前記分布ブラッグ反射器の一部または全領域、及び位相調整領域に、一層以上の周期数でかつ前記活性導波路とは独立な構造の量子井戸層が形成されたことを特徴とする請求項 10 に記載の波長可変分布反射型半導体レーザ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

【従来の技術】

情報通信サービスの利用増大に伴い、それを支える光通信システムの高速・大容量化が進められている。なかでも、波長多重（WDM: Wavelength Domain Multiplexing）方式は、一本の光ファイバに複数の波長で光信号を伝送するものである。この方式は、光ファイバの増設をせずとも通信容量を劇的に改善することができたため、WDM方式の商用化がすでに進められている。

## 【0002】

WDM用の光伝送装置では、多くの場合、各波長チャンネルに応じた波長の半導体レーザが搭載される。しかし、すべてのチャンネルに各々独立の半導体レーザを準備した場合、装置の大型化や価格上昇が避けられない。そこで、小型で廉価なWDM伝送装置を実現するため、一つの素子で複数の波長チャンネルに対応できる光源を開発し、WDM装置の部品数、大きさ、価格を改善することが臨まれている。このような背景の中で、単一の素子で、波長を自在に調整できる光源、波長可変光源の開発が進められている。また、波長可変光源にもいくつかの種類があり、その開発例は、2001年電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会、講演番号C-4-3（非特許文献1）や、電子工学論文、IEEE Journal of Lightwave Technology Vol. 17、No. 5（1999年）、918-923頁（非特許文献2）等に記載されている。

## 【0003】

これまでに開発が進められている波長可変光源のうち、波長の切り換えを高速で実現する有望な光源として、分布反射器型（DBR:Distributed Bragg Refractor）レーザがある。DBR型レーザでは、活性領域とDBRが集積されており、DBR領域に電流を注入し波長が調整できる。DBR型レーザでの波長調整原理は知られているため、ここでは概略のみ記述する。

## 【0004】

DBR領域には光導波路層と回折格子が形成され、DBRレーザの波長 $\lambda_{DBR}$ は、前記の屈折率 $N_{DBR}$ と回折の周期 $\Lambda$ の積によって決まる。DBR領域に電流を注入すると、前記の光導波路層内に電子が蓄積されるため、その結果光導波路層の屈折率 $N_{DBR}$ が変化する。一般に、この効果はプラズマ効果とも言われている。一方、DBRの周期 $\Lambda$ は電流注入では変化しないため、波長 $\lambda_{DBR}$ の制御が可能となる。

## 【0005】

DBR領域に光の増幅作用を設ける概念は、1990年に発行された電子工学



論文 I E E E P h o t o n i c s T e c h n o l o g y L e t t e r s、  
第3巻、No. 10の866頁から868頁に報告されている（非特許文献3）  
。この報告例ではDBR領域にバルクで構成される活性層を設け、DBR領域に  
増幅作用を持たせることが試みられている。

【0006】

【特許文献1】

特開平5-55689号公報（段落11、図2）

【特許文献2】

特開平8-139413号公報（段落23、図2）

【非特許文献1】

2001年電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会、講演番号C  
-4-3

【非特許文献2】

I E E E J o u r n a l o f L i g h t w a v e T e c h n o l o g  
y V o l . 17、No. 5（1999年）、918頁-923頁

【非特許文献3】

I E E E P h o t o n i c s T e c h n o l o g y、第3巻、No. 10  
の866頁から868頁

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

前述のように、DBRレーザで波長を調整する場合、DBR領域の光導波路層  
の中に電子が蓄積する。光導波路に蓄積した電子は、よく知られているように自  
由電子吸収を起こし、導波路を伝播する光（フォトン）を吸収する。この結果、  
DBR領域を伝播する光の強度が減衰し、素子の出力は低下する。その実験結果  
の一例を図1および図2に示す。図1は実験に用いた素子構造図で、光共振器の  
光軸に平行な面での断面図である。図2はその素子特性の例である。

【0008】

この素子構造は、通例のDBRレーザと同じ構造である。即ち、n型InP基  
板上に、活性領域とDBR領域が搭載される。n型InGaAsP光閉じ込め層

102、多重量子井戸活性層103及びp型InGaAsP光閉じ込め層104によって活性領域が構成される。他方、n型InP基板上的InGaAsP光閉じ込め層111の上部にInGaAsP層によって回折格子層115が形成される。そして、前記活性領域と前記DBR領域との上部に、共通のp型InPのクラッド層が形成される。前記活性領域と前記DBR領域の双方に対応して、p型InPクラッド層121、p型InGaAsコンタクト層122が酸化ケイ素膜108で分離されて形成される。更に、前記活性領域と前記DBR領域の双方に対応して、各々p極電極132、P極電極133、基板の裏面にn極電極131が形成される。発光端面を含む両結晶端面には、通例通り高反射膜135、低反射膜132が設けられている。

#### 【0009】

図2はその素子特性である。図2の(a)は、波長調整電流の注入に伴う電流-光出力特性、図2の(b)は、波長調整電流を注入した際の、発振波長および光出力の取出し効率を示している。図2の(a)にみられるように、波長調整電流の注入に伴い、電流-光出力特性が変化している。そして、光出力が得られなくなる領域も発生する。図2の(b)によれば、波長調整電流が0～30mA（ミリアンペア）の範囲において、波長は、約1559nmから1551nm程度まで変化している。このとき、図2の(b)に合わせて示した光出力効率は、約2dB（デシベル）低下している。

#### 【0010】

このような波長調整に伴う光出力の低下は、DBRレーザを波長可変光源として実用化する上で、素子の光出力を調整する回路を設けたり、波長調整範囲に制約が生じる等、新たな問題を生み出す。

#### 【0011】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明は、前述の課題を解決し、光出力の低下を抑えながら波長可変特性を最大限に引き出すことにある。この為、DBR領域の光導波路構造内に量子井戸層を導入した構造を提案する。本発明の特徴は、DBR領域に形成する量子井戸構造が以下の特性を持つ点にある。第1に、DBR領域に形成された量子井戸層

が、発振波長の光を増幅することである。そして、DBR領域であるので、DBR用の量子井戸層そのものは、レーザ発振しないことである。以上の特徴を有する本願発明により、波長調整時の光出力低下を抑えることができる。勿論、波長の制御は、従来通り、DBR領域に電流を注入し発振波長を制御する。以下、本発明を説明する。

#### 【0012】

まず、DBR領域に形成された量子井戸層の増幅作用は、前述の波長調整時に生じる光の減衰を補償できる。これにより、波長調整時の光出力低下は抑えられる。但し、DBR領域に導入する量子井戸層は、発振しきい値利得を大きくし、前記のようにDBR領域がレーザ発振しない設計にしなければならない。DBR領域でレーザ発振した場合、当該領域はもはやDBR領域ではなく、分布帰還型 (DFB: Distributed Feedback) レーザとなってしまう。この結果、波長調整が出来なくなり、DBRレーザ本来の目的は達成できない。

#### 【0013】

尚、DBR領域に形成された量子井戸層での発振波長の光の増幅作用は、DBR領域に形成された量子井戸層のバンドギャップ波長が、発振波長と重なっている場合に、発生する。通例、量子井戸のバンドギャップ波長は、ピーク波長を頂点としてある程度の広がりを持つ。このため、DBRの回折格子周期から決定される発振波長に対して、概ね $\pm 20\text{ nm}$ ～ $\pm 30\text{ nm}$ 程度の範囲に、上記量子井戸層のバンドギャップのピーク（利得ピーク）を設定するのが良い。

#### 【0014】

DBR用量子井戸層そのものにレーザ発振を起させないための一方法として、具体的には、DBR部分の量子井戸層数を少なくする方法が簡易で有効である。即ち、DBR部分の量子井戸の発振しきい値利得が大きい構造を採用する必要がある。しきい値利得が大きいために、DBR部で利得が発生しても、レーザ発振のしきい値に至らないことになる。

#### 【0015】

本発明において、DBR部分の量子井戸層を活性領域の量子井戸層とは独立な

量子井戸層としたのは、活性領域（発光領域）と DBR 部で、しきい値利得が異なるようにするためである。活性領域は、容易に発振が起こるよう、しきい値利得が小さくなる量子井戸構造とし、他方、DBR 部は大きくなる量子井戸構造となす。

#### 【0016】

##### 【発明の実施の形態】

本発明の実施の形態を説明するに先立って、本発明の作用、効果について詳細に説明する。

#### 【0017】

本発明では、DBR 領域への電流注入に伴う自由キャリア損失  $\alpha_{fc}$  を補償した結果、波長可変光源の特性として、次の二つの効果が現われる。

- (1) 波長調整時の光出力低下に対する抑制。
- (2) 波長可変幅の拡大。

#### 【0018】

前者は、前記のように自由キャリア損失  $\alpha_{fc}$  を低減した直接的な効果である。又後者は、 $\alpha_{fc}$  を低減したことによる付加的な効果であり、波長可変レーザー特性改善に大きく寄与する。

#### 【0019】

まず、 $\alpha_{fc}$  を低減されること、及びその直接的効果について説明する。DBR 領域への電流注入に伴って発生する自由キャリア吸収損失  $\alpha_{fc}$  は、一般に注入したキャリア密度  $n$  に比例するとされている。従って、係数を  $A$  として、 $\alpha_{fc} = A \times n$  ( $\text{cm}^{-1}$ ) の関係が成り立つ。一方、量子井戸によって発生する増幅作用の大小は、利得係数  $g$  で表される。DBR 領域の利得係数  $g_{\text{DBR}}$  は、量子井戸に注入されるキャリア密度  $N$  にほぼ比例するため、 $g_{\text{DBR}} = \beta \times N$  ( $\text{cm}^{-1}$ ) の関係が成り立つ。ここで  $\beta$  は量子井戸構造によって決まる係数である。前述の係数  $A$ 、 $\beta$  の値および、 $N$  と  $n$  の関係は、DBR 領域に形成する量子井戸の設計により調整することができる。従って、DBR 領域の構造を適切に設計すれば、 $g_{\text{DBR}} - \alpha_{fc} \approx 0$  に近付けることができ、DBR で発生する自由キャリア吸収  $\alpha_{fc}$  を  $g_{\text{DBR}}$  によって補償することができる。

## 【0020】

次に、 $\alpha_{fc}$  が低減された場合に波長可変幅が大きくなる効果を説明する。DBR レーザがあるモードで発振するためには、活性領域でのそのモード利得  $G_{thm}$  が、レーザ内部の全損失 ( $\alpha_{tot}$ ) に等しくなければならない。

## 【0021】

即ち、

$$\alpha_{tot} = G_{thm} \quad \dots (1)$$

の関係が成り立つ必要がある。

## 【0022】

又、 $\alpha_{tot}$  は、

$$\alpha_{tot} = \alpha_i + \alpha_{DBR} + \alpha_{fc} \quad \dots (2)$$

で表される。ここで、 $\alpha_i$  は導波路の内部損失、 $\alpha_{DBR}$  は、DBR 反射鏡での反射損失である。そして、

$$\alpha_{DBR} = (1/L_{act}) \times \ln(1/R_{DBR}) \quad \dots (3)$$

で与えられる。 $\ln$  は自然対数を意味する。 $L_{act}$  は活性領域の長さ、 $R_{DBR}$  は DBR 領域の回折格子の構造によって決まる反射率である。(2) 式において、 $\alpha_{fc}$  を小さくできれば、 $\alpha_{DBR}$  その分が大きくなったとしても  $\alpha_{tot}$  は換わらずに済み、レーザ発振が可能である。これを (3) 式についてみると、自由キャリア損失 ( $\alpha_{fc}$ ) が小さい DBR レーザでは、小さな活性領域の長さ ( $L_{act}$ ) においてもレーザ発振を実現できることが導ける。

## 【0023】

一方、波長  $\lambda$  で発振する DBR レーザの発振波長モード間隔  $\Delta\lambda$  は、

$$\Delta\lambda = \lambda^2 / (2 \times N \times L_{act}) \quad \dots (4)$$

で与えられる。従って、前述のように  $\alpha_{fc}$  の低減により、小さい活性領域の長さ ( $L_{act}$ ) のレーザで発振が可能になれば、(4) 式中の  $\Delta\lambda$  も大きくなることがわかる。DBR レーザの連続波長可変幅は、DBR レーザの発振波長モード間隔に比例する。従って、(4) 式の関係から、 $L_{act}$  の小さいレーザでは、連続波長可変幅も大きいことが理解されよう。

## 【0024】

### <実施の形態 1>

本発明の第一の実施例は波長 1.55  $\mu\text{m}$  帯の波長可変レーザ装置である。

#### 【0025】

図 3 は本発明第一の実施例についてみた断面図である。図 3 の (a) は、導波路軸を横からみた断面図。図 3 の (b) は、活性領域について、導波路の軸に垂直な方向からみた断面図である。各図の詳細は以下の製造工程の説明に従って説明される。

#### 【0026】

本例の波長可変レーザ装置は活性領域と DBR 領域から形成され、それぞれ、活性領域用電極 132 と変調器用電極 133 が独立に形成されている。活性領域と DBR の間は電氣的に分離されている。

#### 【0027】

以下に、製造工程に従って簡単に説明する。図 4 は製造工程を示す素子の断面図である。まず、図 4 の (a) を参酌して理解されるように、第一の結晶成長工程で、n 型 InP 基板 101 の上に、活性領域の多層構造を形成する。活性領域の多層構造は、n 側閉じ込め層 102、多重量子井戸活性層 103、p 側光閉じ込め層 104、p 型クラッド層 105 からなる。前記多重量子井戸活性層 103 には、厚さ 6 nm のウエル層、厚さ 10 nm のバリア層を 7 対が周期的に積層されており、レーザとして十分な特性を実現できるよう設計した。活性領域のバンドギャップ波長は、1550 nm に設定した。

#### 【0028】

活性領域の多層構造を形成した後、第二の結晶成長工程で、DBR 領域の多層構造を形成する。第二の結晶成長工程で形成される DBR 領域の多層構造は、図 4 の工程で示すように、バットジョイント成長を用いて形成する。

#### 【0029】

尚、バットジョイント成長とは、複数の導波路を突き合せて成長・形成する成長方法である。その工程は、通例、第一の導波路構造の結晶成長、エッチング工程、第二の導波路の結晶成長の 3 段階で構成される。具体的には、図 4 と共に発明の実施形態 1 の中に記載されている。第一の結晶成長工程では、半導体基板上

に、活性領域の積層構造を形成する。第二段階では、活性領域のみ前述の積層構造を残し、他領域をエッチングにより選択的に除去する。この後、第二の結晶成長工程において、DBR部として所望の積層構造を成長させる。これにより、同一半導体基板上に、活性領域とDBR領域の積層構造が突き合せて形成される。

#### 【0030】

活性領域の多層構造の上部に窒化ケイ素（以下 $\text{SiN}$ と略記）を被覆し、レーザ部分に保護マスク151を形成する（図4の（a））。この $\text{SiN}$ マスク151を用いて、図4（b）に示すように、活性領域の多層構造をエッチング除去する。エッチングは $\text{n}$ 型 $\text{InGaAsP}$ 光導波路層102までをエッチングし、 $\text{n}$ 型 $\text{InP}$ 基板上で選択的に停止させる。エッチングには、例えば、反応性イオンエッチング（ $\text{RIE: Reactive Ion Etching}$ ）等のドライエッチング、又は、磷酸又は硫酸を主成分とする溶液を用いた選択性ウエットエッチング、さらには両者の併用、いずれの手法でもよい。

#### 【0031】

引き続き、図4（c）に示すように、露出した $\text{n}$ 型 $\text{InP}$ 基板101の上に、DBR領域の多層構造を形成する。 $\text{InGaAsP}$ 光導波路層111、と量子井戸層131、光導波路層111を交互に積層した上に、 $\text{p-InP}$ スペーサ層114、回折格子の為の層115、例えばバンドギャップ波長 $1.15\mu\text{m}$ の $\text{InGaAsP}$ 層を形成する。光導波路層は、バンドギャップ波長が $1.40\mu\text{m}$ から $1.43\mu\text{m}$ 程度となるようにした。又、量子井戸層131のバンドギャップ波長は、ほぼ $1550\text{nm}$ 程度になるようにした。DBR領域で所望の反射率を得るため、回折格子の為の層のバンドギャップ波長は、 $1.15\mu\text{m}$ に設定した。尚、バットジョイント成長については通例の方法で十分であり、その詳細な説明は省略する。

#### 【0032】

DBR領域の多層構造を形成した後、描画技術とエッチング技術を適用し、回折格子の為の層115を回折格子（ $\text{grating}$ ）構造に加工する。回折格子の周期は、室温（ $25^\circ\text{C}$ ）でのブラッグ（ $\text{Bragg}$ ）波長が $1550\text{nm}$ となるよう調整した。本実施例では、干渉露光による描画とウエットエッチングによ

る形成手法を用いているが、電子線描画やドライエッチング等、他の手法を用いることもできる。DBR領域の回折格子を形成した後、第三の結晶成長工程で、p-InPクラッド層121と、p-InGaAsオーミックコンタクト層122を形成する(図4(d))。

#### 【0033】

第三の結晶成長工程に引き続き、図3の(b)にあるような埋め込みヘテロ(BH:Buried Heterostructure)型の構造を形成する。光共振器の光軸方向に延在させるメサストライプ150の形成には、メタン系ガスを用いた反応性イオンエッチング(RIE:Reactive Ion Etching)を用いた。ドライエッチングで生じる結晶表面のダメージを除去するためエッチング表面を臭化水素(HBr)と臭素とを主成分とする溶液でわずかに処理した後、鉄(Fe)をドーピングした高抵抗InP107で活性層および光導波路層を埋め込んだ。以上の工程を経て埋め込みヘテロ(BH:Buried Heterostructure)構造は完成する。

#### 【0034】

これに引き続き、ウエハ表面を酸化珪素(以下、SiO<sub>2</sub>と略記する)108により結晶表面の絶縁化処理する。メサストライプ150の上部109は、通電のため絶縁膜を除去し、活性領域用のp側電極132、DBR用のp側電極133を形成した。これらp電極の形成に引き続き、ウエハを100μm程度に薄く研磨加工し、InP基板の裏面にn側電極131を形成する。n側電極の形成後、個別の半導体レーザ装置毎に所望の長さにへきかいする。半導体レーザ装置の後端面には高反射膜135、前端面には低反射膜136をそれぞれ形成した。

#### 【0035】

本実施例の構造は、波長可変DBRレーザの波長調整時に、電流-光出力特性の劣化を抑える効果がある。特に、単位電流当りの光出力効率(スロープ効率)の劣化低減に効果を発揮する。

#### 【0036】

第一の実施例の変形例を図5に示す。本例は、DBR領域と活性領域の間に、位相調整領域を設けた例である。図5は光共振器の光軸に平行な面での断面図で



ある。波長可変 DBR レーザにおける位相調整領域の役割は、通例のものと大差はないため、詳細な説明は省略する。図 5 の例では、位相調整領域にも量子井戸層 112 を導入している。この為、位相調整領域においても、本発明の目的である、自由キャリア損失の補償が可能となる。作製工程は、図 3 及び図 4 に示した実施例と同じ工程である。尚、図 5 において、符号 141 は位相調整領域の p 極電極である。

#### 【0037】

又、図 6 は、DBR 領域を活性領域の前方及び後方に設けた例を示す。図 6 は光共振器の光軸に平行な面での断面図である。又、符号 142 は後方 DBR 領域の p 極電極である。更に、図 7 に例示するように、DBR 領域に周期がわずかに異なる回折格子を複数並べたサンプルドグレーティング (SG: Sampled Grating) 構造に本発明が適用できることは言うまでもない。SG 構造の場合、周期の異なる回折格子 161、162、163、164 を並べ、それぞれを波長調整電極 171、172、173、174 で調整する構造である。この為、通常の DBR に比べ、DBR 領域は長くなる。この場合、DBR 領域を伝播する光の減衰は大きな問題であるが、本発明のように、DBR 領域での光の減衰を補償する構造は、SG-DBR では特に効果的である。本発明では前方に 4 種の SG を設けているが、発明の対象は SG の数をこれに限定するものではない。又、SG-DBR が活性領域の前後に設けられる場合には、更に本発明の効果を発揮できる。

#### 【0038】

又、半導体レーザ装置を構成する材料や素子の導波路構造についても、本発明の対象は、本実施例の材料系や構造に限定するものではない。活性領域、DBR 領域を構成する材料系について言えば、本実施例では InGaAsP 系材料を取り上げているが、前記活性領域や DBR 領域の一部又は全体に InAlAs 系材料や InGaAlAs 系材料等を用いることも可能である。導波路構造については、本実施例で示した埋め込みヘテロ構造以外にもリッジ導波路型構造にも適用可能である。

#### 【0039】

本実施例では、InGaAsP系及びInGaAlAs系材料で構成されるレーザを取り上げたが、本発明の構造は、上記の材料系に限らず、III-V属化合物半導体などで形成されるDBR構造を有するレーザ全般に適用できる。

#### 【0040】

本実施例の効果を図12および図13を用いて説明する。図12は、本発明を適用した波長可変レーザの波長可変特性について、その実験結果を示す図である。横軸はDBR領域に注入した電流を示し、縦軸は発振波長の変化量を示している。図12には、本発明を適用したレーザの結果と共に、適用していないレーザの結果を比較の為に記載している。図に示されるように、DBR領域に電流を注入するに従い、波長は短波長化している。DBR領域への注入電流が100mA程度での波長変化（可変）量は、本発明を適用した素子とDBR領域に量子井戸を挿入しない従来型素子とではほぼ同じ値である。

#### 【0041】

一方、図13は、波長調整時に実測した素子の駆動電流を示す。図12と同様に本発明のレーザと本発明を用いないレーザとを比較して示してある。横軸は波長の変化量、縦軸は+3dBmの光出力を得るために活性領域に注入した駆動電流を示す。従来の素子では、波長変化量の増大と共に、駆動電流は増大する。波長可変量7nmとした時、素子の駆動電流は初期よりも1.5倍以上に増大している。これに対し、本発明を適用した素子では、波長を7nm以上変えた場合においても、駆動電流の変化は10%程度以下に抑えられている。これは、DBR領域に挿入した量子井戸によって利得が発生し、波長調節時の損失が補償されたことを示すものである。

#### 【0042】

このように本発明は、波長可変レーザで、約7nm波長を変えながら、且つ、+3dBmの光出力を得るための駆動電流は、従来に比べ約半分程度に低減する効果を持つことが確認された。

#### 【0043】

##### <実施の形態2>

本発明の第二の実施例は、DBR波長可変レーザ装置に電界吸収型（EA：E

l e c t r o A b s o r p t i o n) 変調器を集積した構造の例である。図 8 は共振器の光軸に並行な面での断面図である。波長可変レーザ装置は活性領域と DBR 領域から形成され、それぞれ、活性領域用電極 132 と変調器用電極 133 が独立に形成されている。EA 変調器には変調器用の電極 191 が形成されている。活性領域と DBR の積層構造および作製工程は第一の実施例と基本的に同じである。図 9 はその製造工程を示す素子断面図である。図 9 で同じ部位は同じ符号が用いられている。

#### 【0044】

まず、図 9 の (a) を参酌して理解されるように、第一の結晶成長工程で、n 型 InP 基板 101 の上に、活性領域の多層構造を形成する。活性領域の多層構造は、n 側閉じ込め層 102、多重量子井戸活性層 103、p 側光閉じ込め層 104、p 型クラッド層 105 からなる。多重量子井戸活性層 103 には、厚さ 6 nm のウエル層、厚さ 10 nm のバリア層の 7 対が周期的に積層されており、レーザとして十分な特性を実現できるよう設計した。

#### 【0045】

前記活性領域の多層構造を形成した後、第二の結晶成長工程で、EA 変調器の多層構造を形成する。EA 変調器の多層構造積層には、バットジョイント成長を用いている。活性領域の多層構造の上部に窒化ケイ素（以下、SiN と略記）を被覆し、レーザ部分に保護マスク 151 を形成する。この SiN マスク 151 を用いて、図 4 の (b) に示すように、活性領域の多層構造をエッチング除去する。エッチングは n 型 InGaAsP 光導波路層までをエッチングし、n 型 InP 基板上で選択的に停止させる。エッチングには、例えば、反応性イオンエッチング (RIE: Reactive Ion Etching) 等のドライエッチング、又は、燐酸又は硫酸を主成分とする溶液を用いた選択性ウェットエッチング、更には両者の併用、いずれの手法でもよい。

#### 【0046】

引き続き、図 9 の (a) に示すように、露出した n 型 InP 基板の上に、EA 変調器の多層構造を形成する。EA 変調器部分には n 型 InP 基板 101 の上に、光吸収層 180 が形成される。光吸収層 180 は、n 型 InGaAsP 光閉じ

込め層 181、多重量子井戸 (MQW: Multiple Quantum Wells) 層 182、アンドープ InGaAsP 光閉じ込め層 183 の 3 層で形成される。MQW 層 182 は、InGaAsP 系材料の井戸層 (厚さ 7 nm) と障壁層 (厚さ 5 nm) からなる MQW 層を 10 周期積層した。EA 変調器の MQW 構造は、本実施例の値に限定するものではない。所望の変調特性を得るために、井戸層および障壁層の厚さ、組成および周期数は所望に調整しても、本発明の効果に影響はない。

#### 【0047】

EA 変調器の多層構造を形成した後、第三の多層成長工程として図 9 (b) に示すように、DBR 領域の多層構造を形成した。DBR 領域の多層構造は、図 9 に示すようにバットジョイント成長を用いて形成する。活性領域および EA 変調器の多層構造の上部に窒化ケイ素 (以下、SiN と略記) を被覆し、レーザ部分に保護マスク 152 を形成する。この SiN マスクを用いて、図 9 (b) に示すように、活性領域の多層構造をエッチング除去する。エッチングは n 型 InGaAsP 光導波路層までをエッチングし、n 型 InP 基板上で選択的に停止させる。エッチングには、例えば、反応性イオンエッチング (RIE: Reactive Ion Etching) 等のドライエッチング、又は、磷酸または硫酸を主成分とする溶液を用いた選択性ウェットエッチング、更には両者の併用、いずれの手法でもよい。

#### 【0048】

引き続き、図 9 (c) に示すように、露出した n 型 InP 基板 101 の上に、DBR 領域の多層構造を形成する。InGaAsP 光導波路層 111、と量子井戸層 131、光導波路層 111 を交互に積層した上に、p-InP スペーサ層 114、回折格子層 115 を形成する。光導波路層は、バンドギャップ波長が 1.43  $\mu\text{m}$  程度となるようにした。又、量子井戸層 131 のバンドギャップ波長は、ほぼ 1550 nm 程度になるようにした。又、DBR 領域で所望の反射率を得るため、回折格子層のバンドギャップ波長は、1.15  $\mu\text{m}$  に設定した。

#### 【0049】

DBR 領域の多層構造を形成した後、通例の描画技術とエッチング技術を適用

し、回折格子の為の層 115 をグレーティング (grating) 構造に加工した。回折格子の周期は、室温 (25℃) での DFB レーザの発振波長が 1550 nm となるよう調整した。本実施例では、干渉露光による描画とウエットエッチングによる形成手法を用いているが、電子線描画やドライエッチング等、他の手法を用いることもできる。DBR 領域の回折格子を形成した後、第三の結晶成長工程で、p-InP クラッド層 121 と、p-InGaAs オーミックコンタクト層 122 を形成する。

#### 【0050】

第三の結晶成長工程に引き続き、第一の実施例と同様、図 3 (b) に例示したような埋め込みヘテロ (BH: Buried Heterostructure) 型の構造を形成した。メサストライプの形成には、メタン系ガスを用いた反応性イオンエッチングとを用いた。ドライエッチングで生じる結晶表面のダメージを除去するためエッチング表面を HBr 系溶液でわずかに処理した後、鉄 (Fe) をドーピングした高抵抗 InP 107 で活性層および光導波路層を埋め込んだ。以上の工程を経て埋め込みヘテロ構造は完成する。これに引き続き、ウエハ表面を酸化珪素 (以下、SiO<sub>2</sub> と略記) 108 により絶縁化処理する。メサストライプの上部 109 は、通電のため絶縁膜を除去し、p 側電極 132, 133 を形成した。p 電極の形成に引き続き、ウエハを 100 μm 程度に薄く研磨加工し、n 側電極 131 を形成する。電極形成後、素子を所望の長さへきかいした。そして、レーザ装置の後端面には高反射膜 135、全面には低反射膜 136 をそれぞれ形成した。

#### 【0051】

本実施例では、EA 変調器を集積した形態を示しているが、EA 変調器の代わりに、半導体光増幅器 (SOA: Semiconductor Optical Amplifier) を集積することも可能である。EA 変調器部分の MQW 構造を SOA として望ましい構造に変更するだけで、光増幅器は集積できる。又、当然ながら、光増幅器と EA 変調器両方を集積できる。

#### 【0052】

以上、第一、第二の実施例は活性領域が単一ストライプの実施形態を示してい

るが、図10及び図11に示すように複数チャンネルのDBRレーザを並列に並べた形態とすることもできる。図10、図11の(a)は装置の平面図、図10、図11の(b)は光共振器の光軸に平行な面での断面図である。

#### 【0053】

図10の例では、4本のチャンネルのDBRレーザは並列に集積化された例である。符号201、202、203、及び204はこれらの各チャンネルに対する電極を、符号133はDBR領域に対する電極である。更に、この例では4本のチャンネルが光結合器211に光学的に結合され、更に、光導波路221により外部に導出されている。その他、これまでと同じ部位は同じ符号で示されている。

#### 【0054】

図11の例は、図10の例での光導波路221の部分に、光増幅器が用いられた例である。ここでの光増幅によりより大きな光信号を得ることが出来る。その他、これまでと同じ部位は同じ符号で示されており、その詳細を省略する。

#### 【0055】

##### <従来技術との比較検討>

DBR領域に光の増幅作用を設ける概念は、1990年に発行された電子工学論文IEEE Photonics Technology Letters、第3巻、No. 10の866頁から868頁（非特許文献3）に発表されている。この例ではDBR領域にバルクで構成される活性層を設け、DBR領域に増幅作用を持たせることが試みられている。これに対し、本発明では、DBR領域に量子井戸層を挿入している。量子井戸活性層を用いた本発明では、バルク活性層を用いたものに比べて、増幅作用を生み出すまでに必要な電流は、小さい。従って、本発明のように量子井戸層を挿入した構造では、より小さな電流で効果的にDBR領域での損失の補償効果を享受できる。

#### 【0056】

一方、DBR領域に量子井戸層が存在する構造は、その導入の目的は異なるが、特開平5-55689号公報（特許文献1）や特開平8-139413公報（特許文献2）においても提案されている。これらの構造と、本発明との差異を以下

に述べる。

【 0 0 5 7 】

特開平 5 - 5 5 6 8 9 号公報（特許文献 1）には、D B R 領域の光導波路に歪量子井戸構造を導入した構成が示されている。D B R 領域に歪量子井戸を導入した目的は、当該領域のプラズマ効果を促し、波長の調整効率が高めることにあると説明されている。このため、発振波長  $1.55\ \mu\text{m}$  帯に対して、D B R 領域のバンドギャップ波長が  $1.3\ \mu\text{m}$  に設定されている。これに対し、本発明の目的は、D B R 領域での波長調整に伴う光の減衰を抑えることである。D B R 領域の量子井戸バンドギャップ波長は、発振波長とほぼ等しい  $1.55\ \mu\text{m}$  帯とする。これにより、D B R 領域では、発振波長の光に対して、増幅作用が得られる。この増幅作用を利用して、波長調整に伴う光の D B R 領域での減衰を補償するものである。

【 0 0 5 8 】

又、特開平 8 - 1 3 9 4 1 3 号公報（特許文献 2）において、波長可変 D B R レーザのバンドギャップ波長を制御する手法として、活性領域と D B R 領域に共通の量子井戸構造を導入した構成が示されている。本例と比較し、本願発明では、D B R 領域が活性領域とは独立な構造の量子井戸層を有する構造である。本願発明は特許文献 2 に見られない効果を有している。

【 0 0 5 9 】

【発明の効果】

本発明は、光出力が大きく、高速な波長スイッチングが可能な分布反射型波長可変レーザ装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

図 1 は従来の構造を説明する断面図である。

【図 2】

図 2 は従来の構造での特性を説明する断面図である

【図 3】

図 3 は本発明の実施例を説明するための図であり、（a）は素子を側面から見

た断面図、(b)は素子の光軸に垂直な断面図である。

【図 4】

図 4 は本発明の素子の製造工程を示す断面図である。

【図 5】

図 5 は本発明の実施例を説明するための断面図である。

【図 6】

図 6 は本発明の実施例を説明するための断面図である。

【図 7】

図 7 は本発明の実施例を説明するための断面図である。

【図 8】

図 8 は本発明の実施例を説明するための断面図である。

【図 9】

図 9 は本発明の実施例を説明するため、素子の製造工程を示す断面図である。

【図 1 0】

図 1 0 は本発明の実施例を説明するための図である。

【図 1 1】

図 1 1 は本発明の実施例を説明するための図である。

【図 1 2】

図 1 2 は波長可変レーザにおける波長可変特性を例示する図である。

【図 1 3】

図 1 3 は波長調整時の素子の駆動電流の変化を示す図である。

【符号の説明】

1 0 1…n 型 I n P 基板、1 0 2…n 型 I n G a A s P 光閉じ込め層、1 0 3…多重量子井戸活性層、1 0 4…p 型 I n G a A s P 光閉じ込め層、1 0 5…p 型 I n P クラッド層、1 0 7…F e 添加 I n P、1 0 8…酸化ケイ素膜、1 0 9…絶縁膜除去部、1 1 1…I n G a A s P 光閉じ込め層、1 1 2…量子井戸層、1 1 4…p 型 I n P スペーサ層、1 1 5…I n G a A s P 回折格子層、1 2 1…p 型 I n P クラッド層、1 2 2…p 型 I n G a A s コンタクト層、1 3 1…n 極電極、1 3 2…活性領域の p 極電極、1 3 3…D B R 領域の p 極電極、1 3 5…高



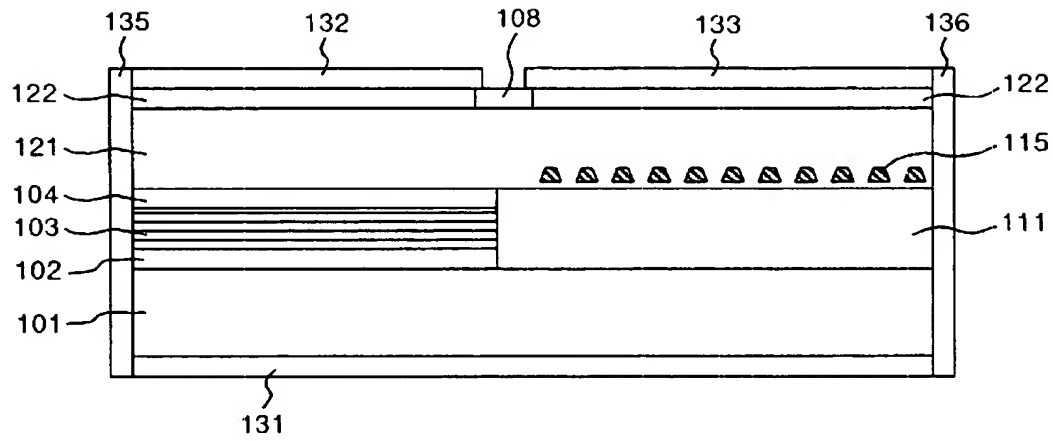
反射膜、132…低反射膜、141…位相調整領域の p 極電極、142…後方 DBR 領域の p 極電極、161…回折格子、162…回折格子、163…回折格子、163…回折格子、171…SG-DBR 用電極、172…SG-DBR 用電極、173…SG-DBR 用電極、174…SG-DBR 用電極、181…n 型 InGaAsP 光閉じ込め層、182…多重量子井戸光吸収層、183…InGaAsP 光閉じ込め層、184…p 型 InP クラッド層、191…EA 変調器部 p 電極、201…第一チャンネル活性領域の電極、202…第二チャンネル活性領域の電極、203…第三チャンネル活性領域の電極、204…第四チャンネル活性領域の電極、211…光結合器、221…光導波路、231…光増幅器電極、232…光増幅器 n 側光閉じ込め層、233…光増幅器量子井戸層、234…光増幅器 p 側光閉じ込め層。

【書類名】

図面

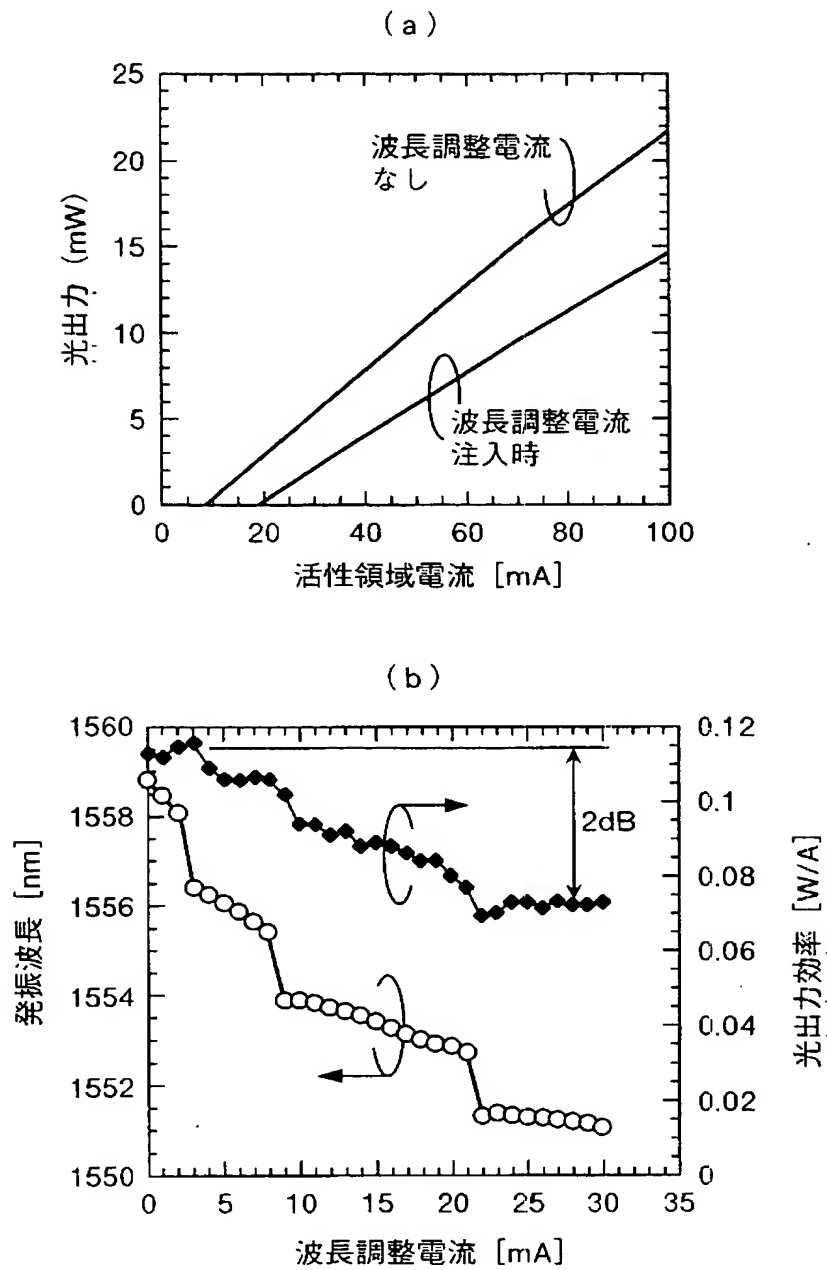
【図 1】

図 1



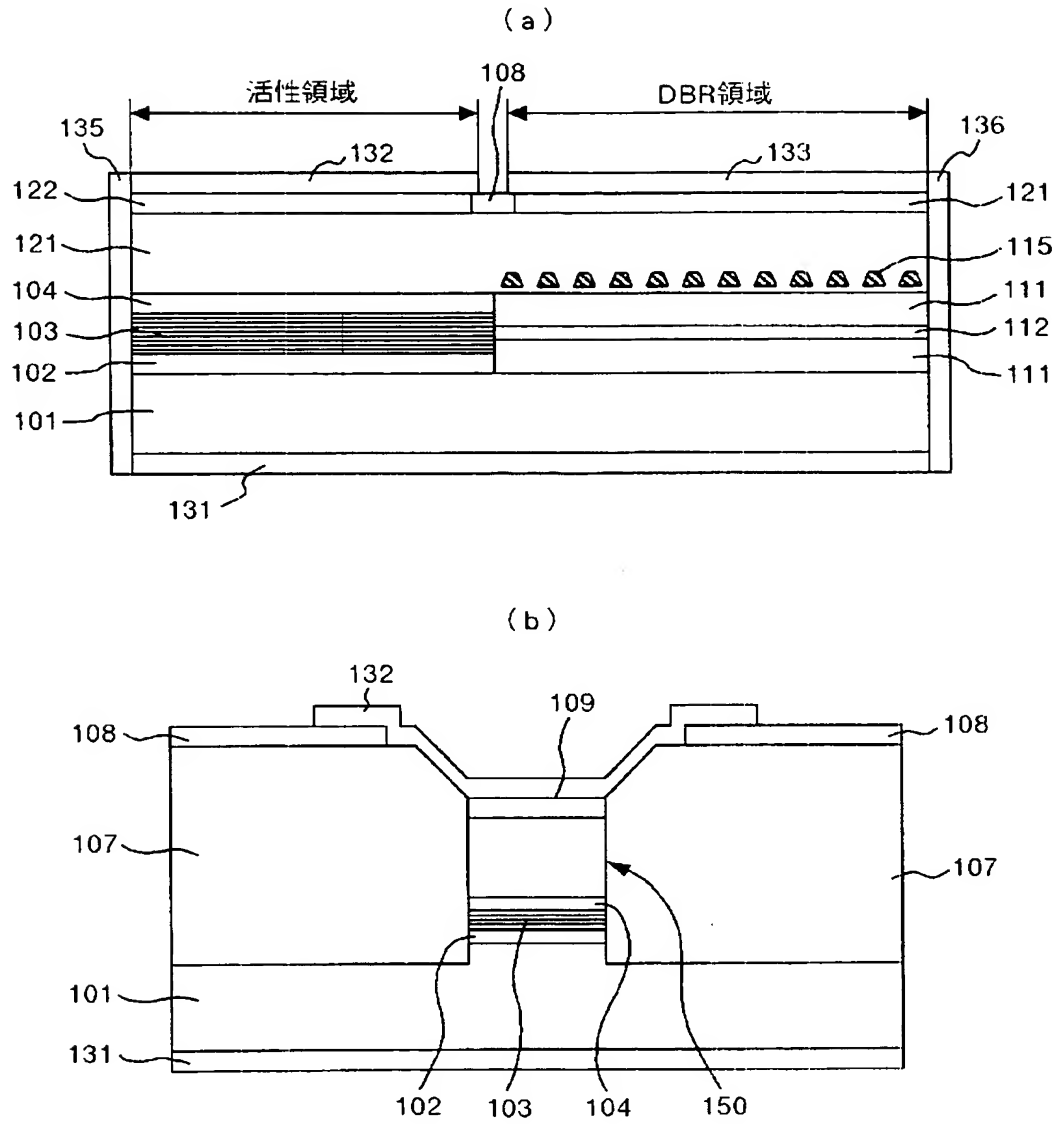
【図 2】

図 2



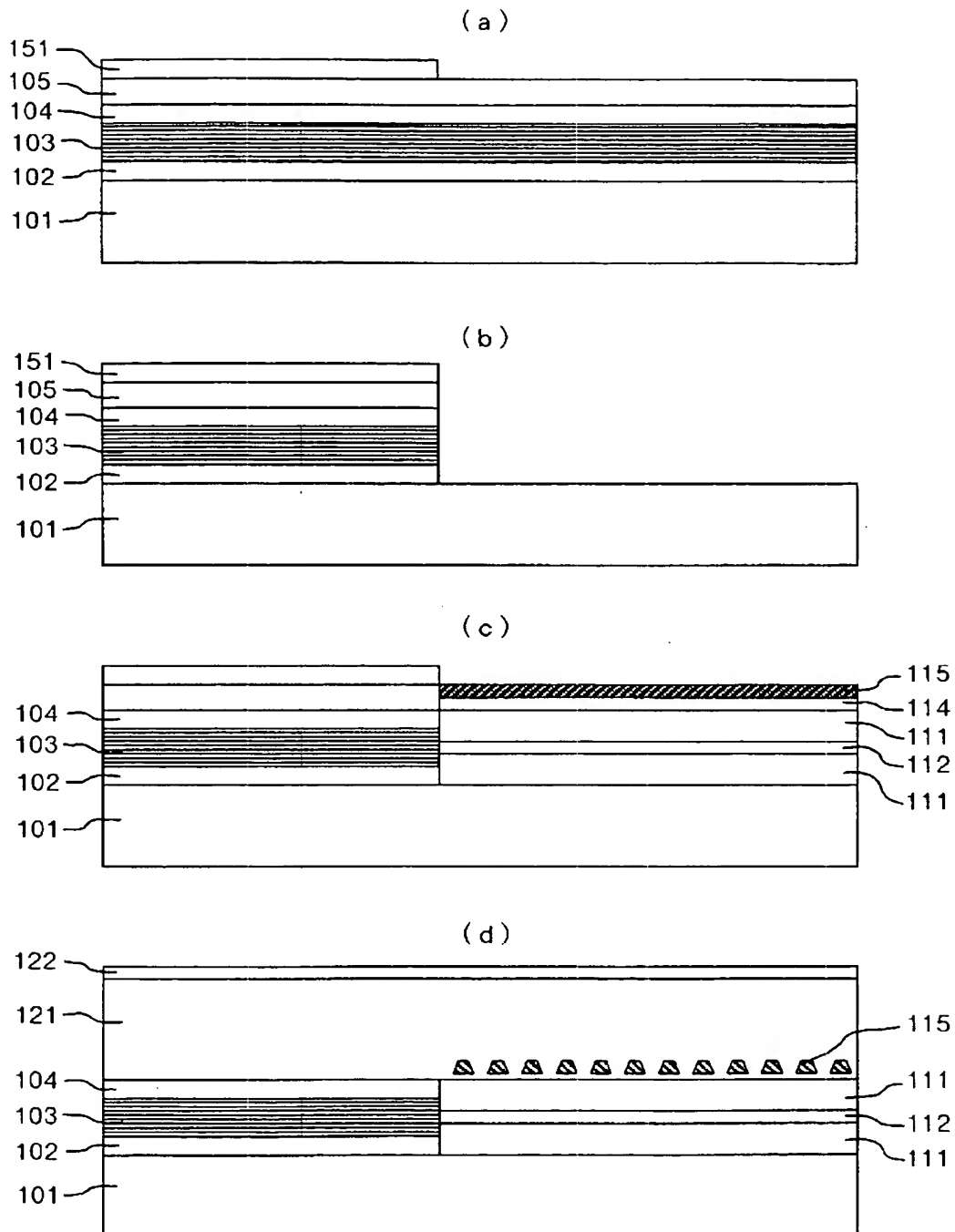
【図 3】

図 3

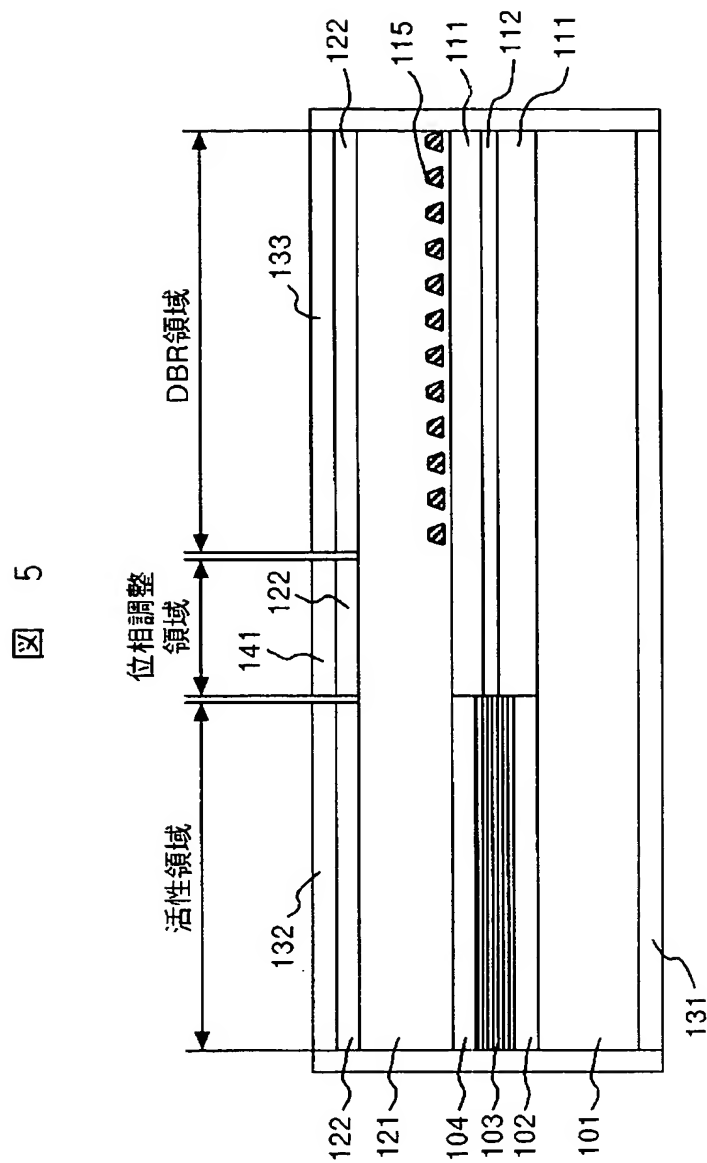


【図 4】

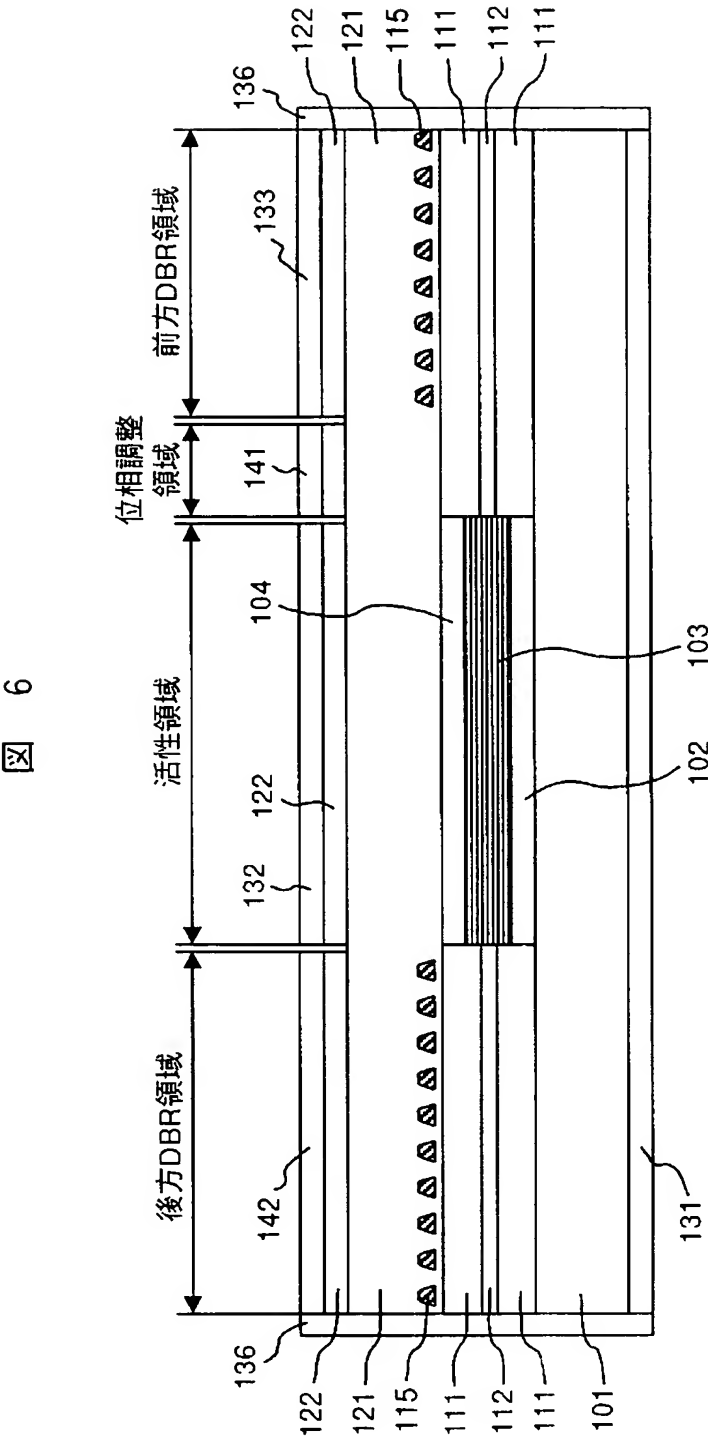
図 4



【図 5】

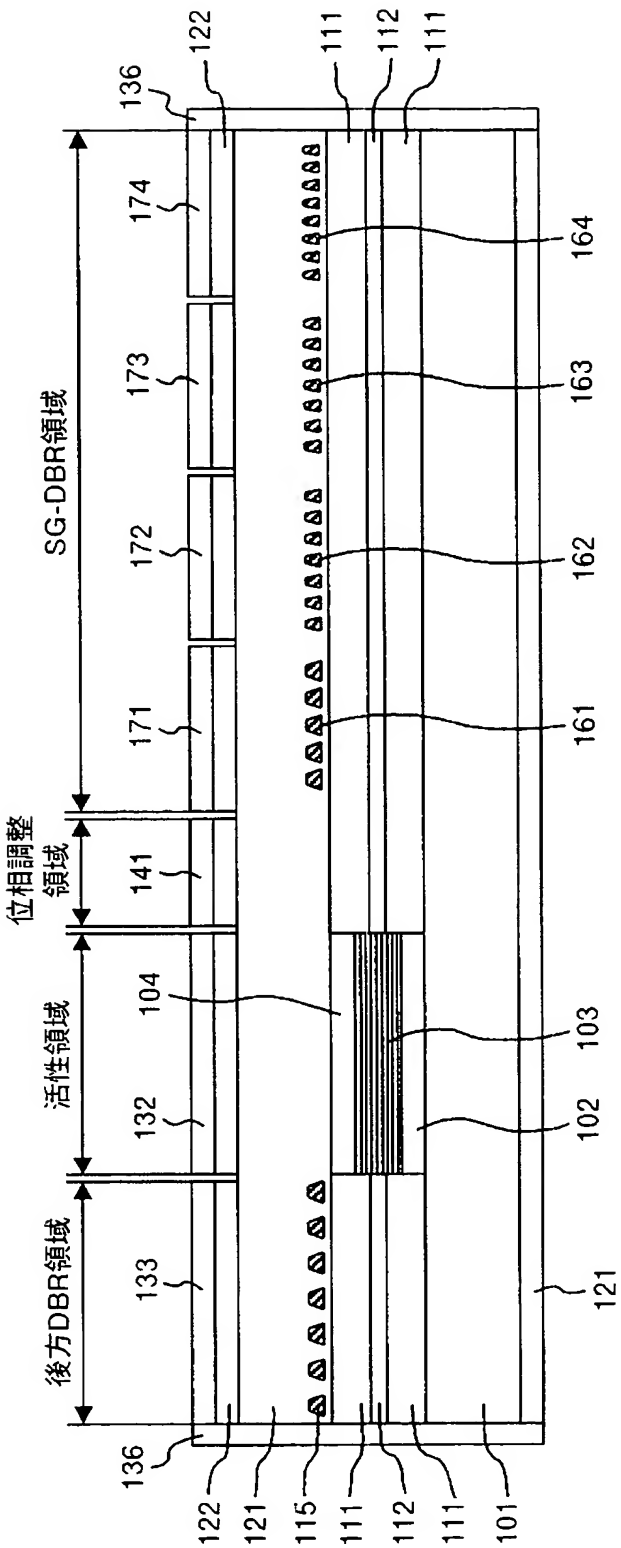


【図 6】



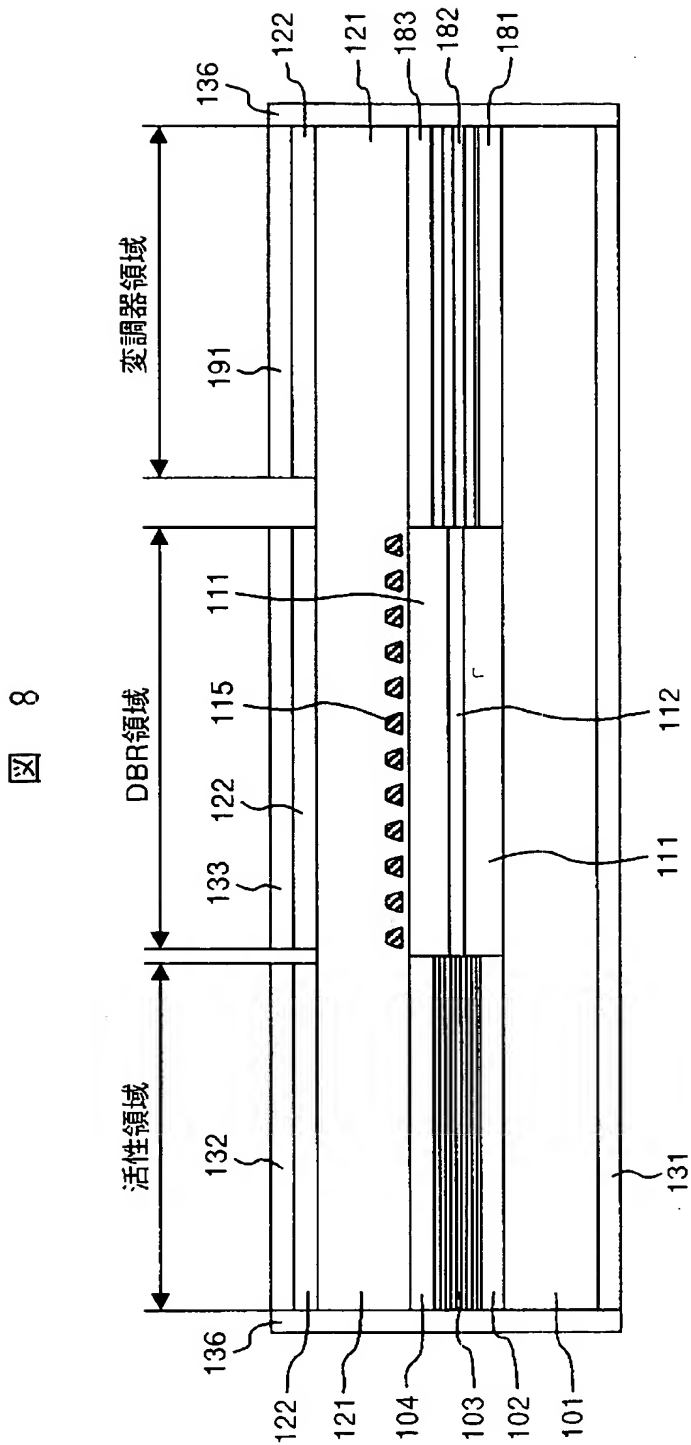
【図 7】

図 7



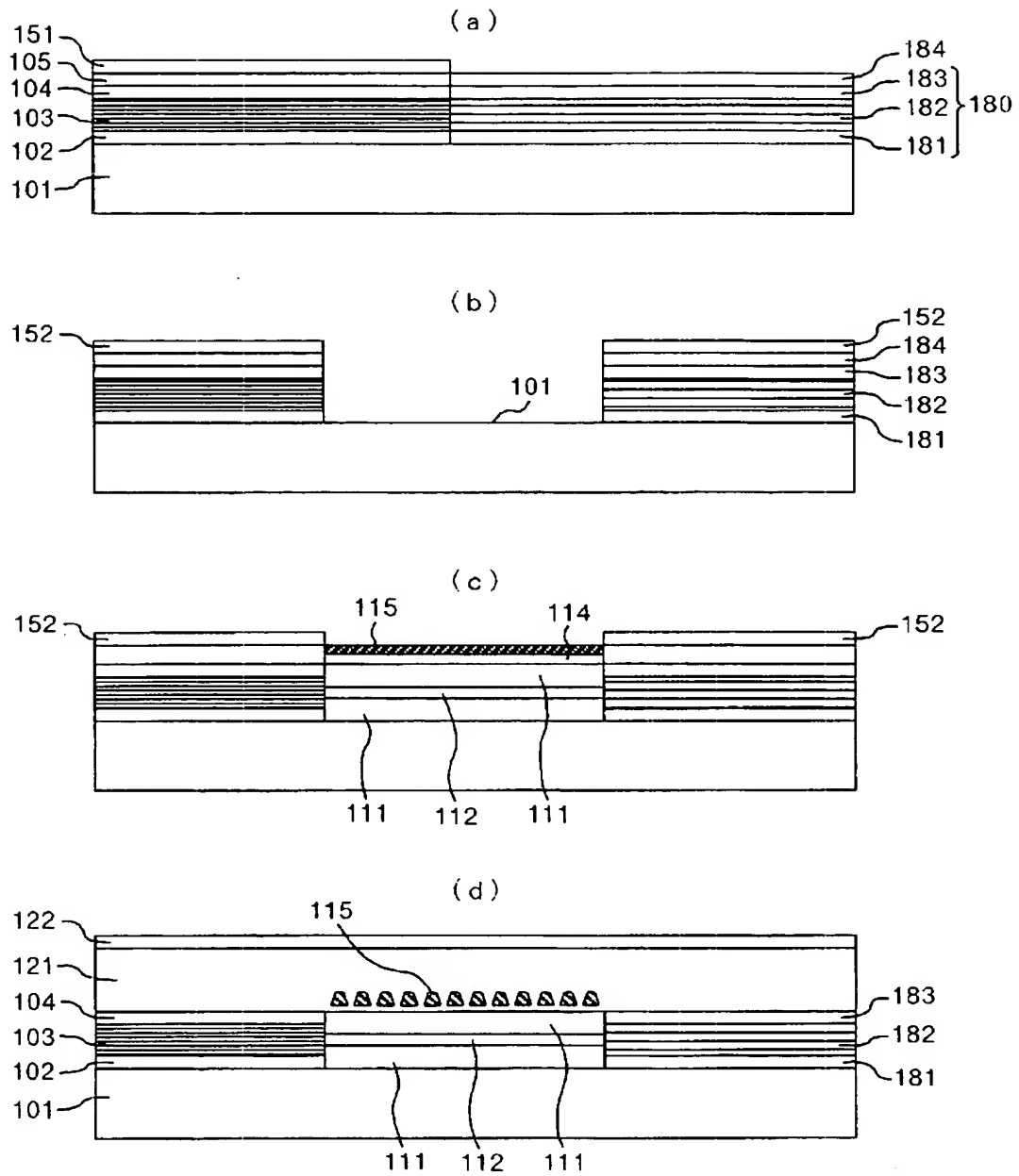


【図 8】



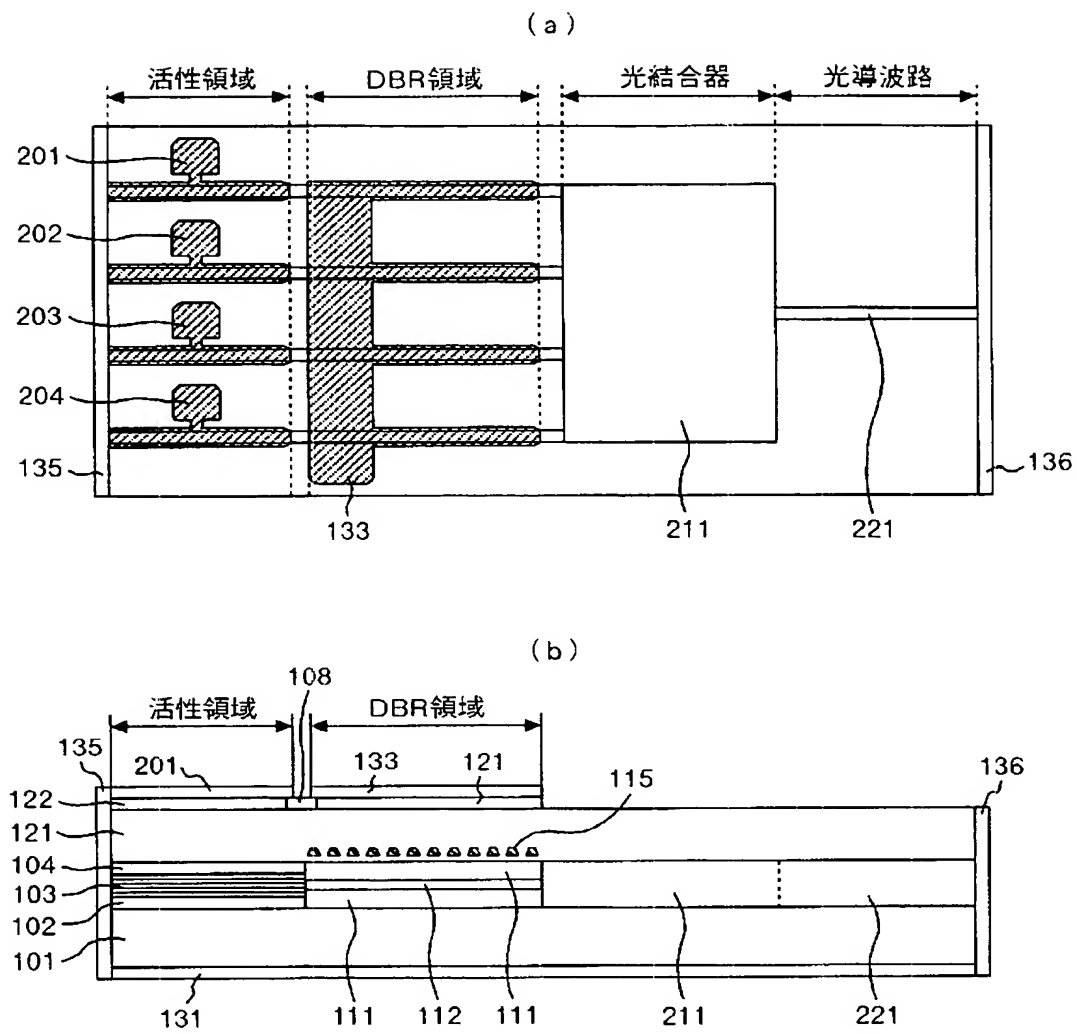
【図 9】

図 9



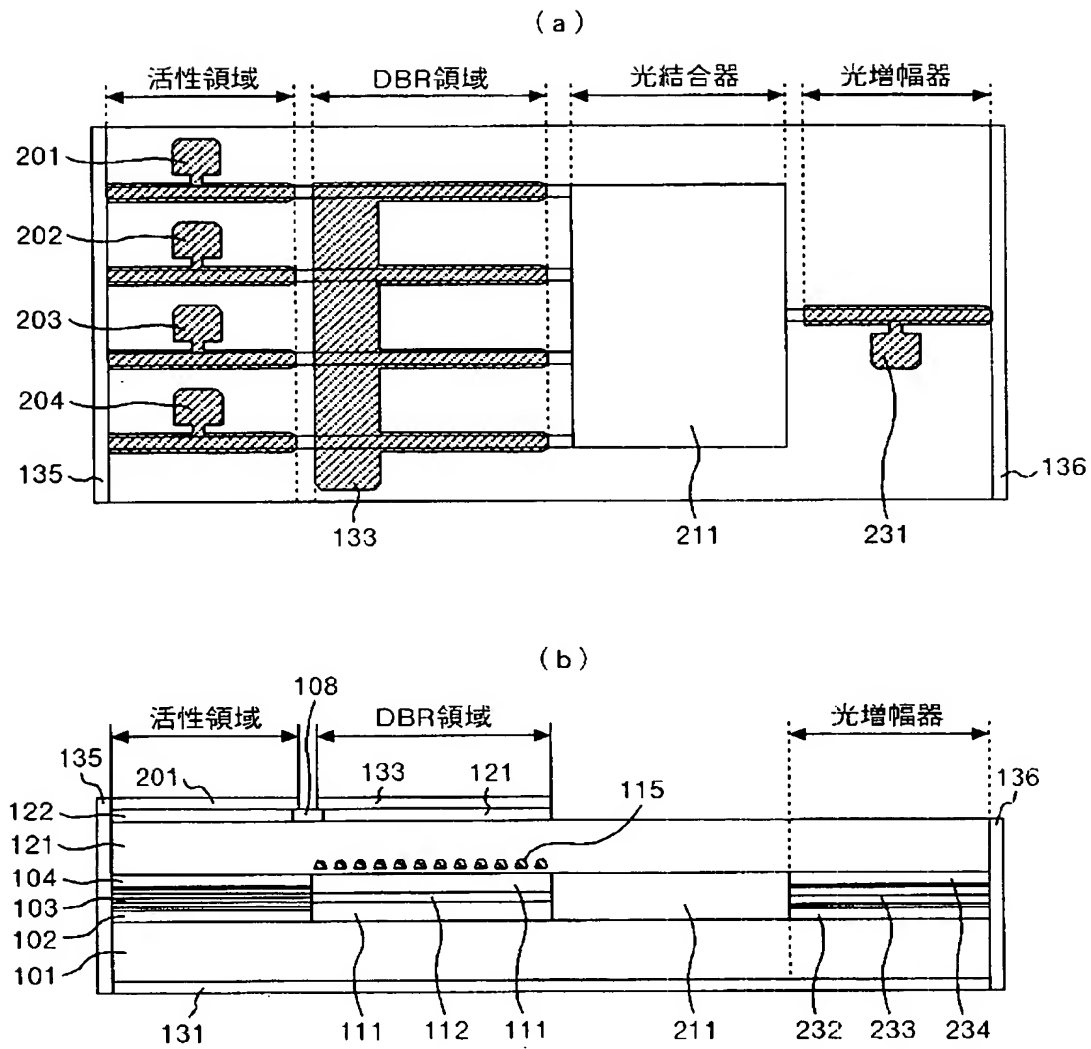
【図 10】

図 10



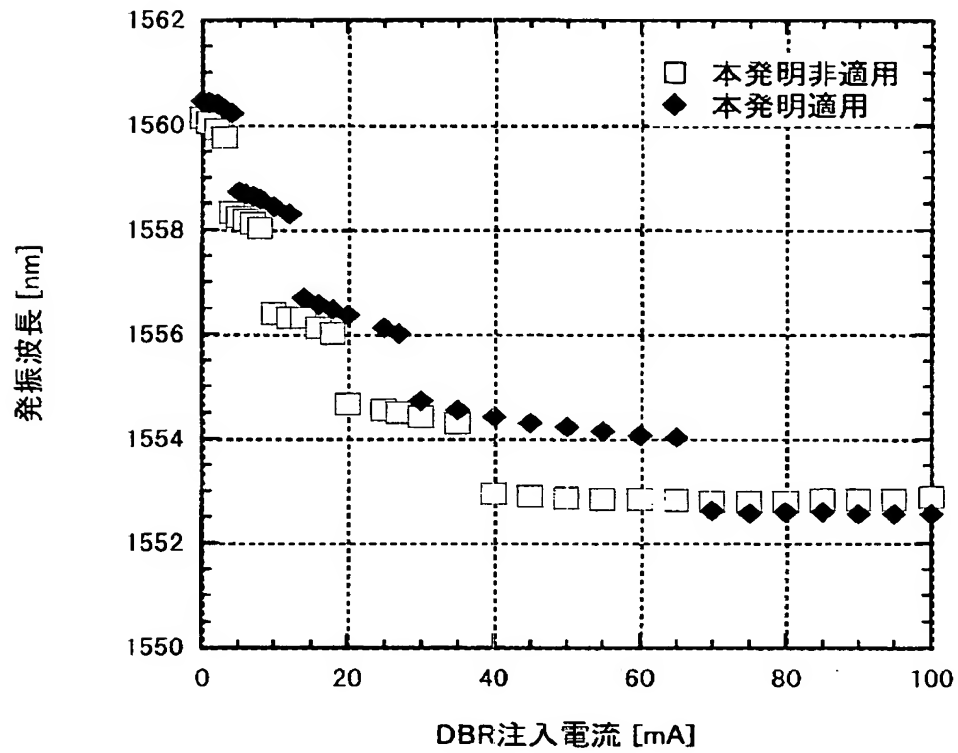
【図 11】

図 11



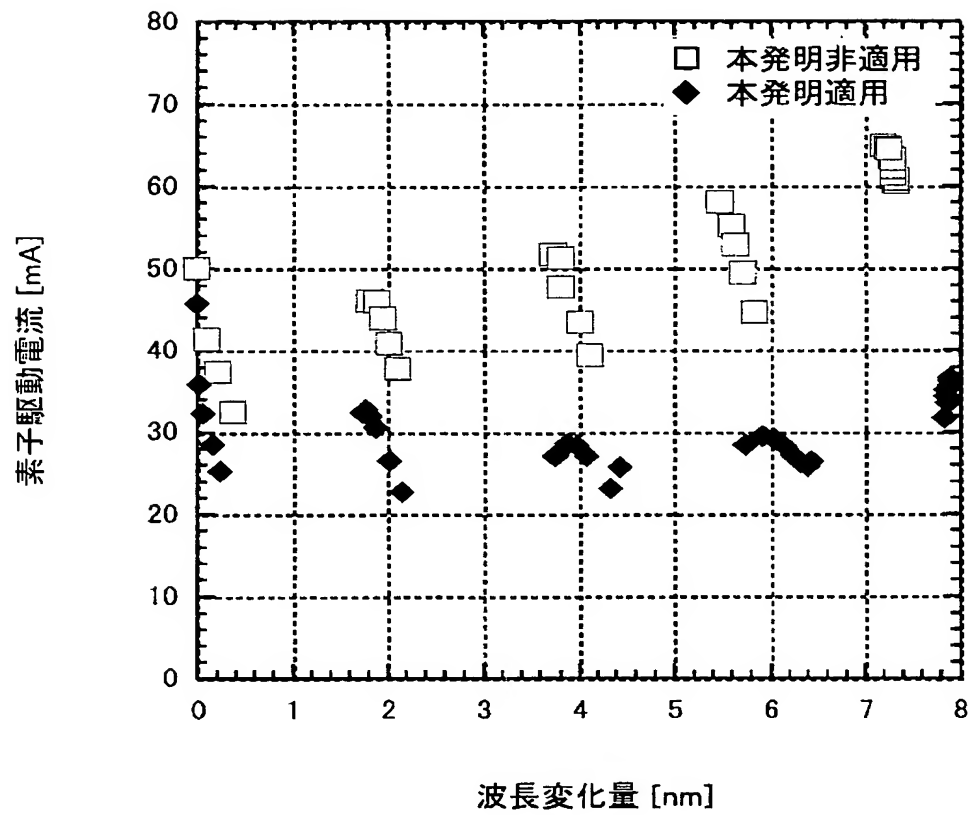
【図 12】

図12



【図 13】

図 13



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 本発明は光伝送装置に関わり、分布反射型波長可変レーザにおいて、波長調整時の光出力変動を抑制しかつ波長可変幅の広い光源を提供する。

【解決手段】 本発明は、半導体基板上の所定領域で活性導波路と分布ブラッグ反射器とが光学的に結合された導波路型光素子において、前記分布ブラッグ反射器の一部又は全体に、一層以上の周期数でかつ前記活性導波路とは独立な構造の量子井戸層が形成されたことを特徴とする波長制御機能付き分布反射型レーザである。

【選択図】 図 3

特願 2 0 0 3 - 0 6 6 4 3 6

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 5 1 0 8 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 3 1 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区神田駿河台 4 丁目 6 番地

氏 名

株式会社日立製作所